

Luftkraftmessungen an einem Dreibeinportal-Kran mit Ausleger

Scholz, Norbert

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 8, 1956,
S.168-181



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Luftkraftmessungen an einem Dreibeinportal-Kran mit Ausleger¹⁾

Von Norbert Scholz

Aus dem Institut für Strömungsmechanik der T. H. Braunschweig

Vorgelegt von Herrn H. Schlichting

Summary: Measurements of the wind loads on a crane model have been carried out in the 4 feet-wind tunnel of the Institute of Fluid Mechanics of the Technical University of Braunschweig. The scale of the model was 1 : 36. The crane was of the three legs portal type. In the wind tunnel measurements the position of the crane against the wind direction was fixed in the most unfavourable position with regard to the balance of forces. The turning angle of the crane house with the outrigger against the portal and the angle of inclination of the outrigger have been varied. The six components of the total wind load on the complete model have been measured and also the wind force on the outrigger alone. The results have been used as the basis of the static calculations of the crane under atmospheric wind loads.

Übersicht: An dem Modell eines DEMAG-Dreibeinportal-Kranes mit Ausleger im Maßstab 1:36 wurden Luftkraftmessungen im 1,3-m-Windkanal des Institutes für Strömungsmechanik der Technischen Hochschule Braunschweig durchgeführt. Die Stellung des Dreibeinportals zur Windrichtung wurde dabei in der für das Kippen des Kranes ungünstigsten Stellung festgehalten, während der Schwenkwinkel des Auslegers mit Kranhaus sowie der Auslegerwinkel variiert wurden. Es wurden die Luftkräfte auf das gesamte Kranmodell einschließlich Ausleger, sowie auch die Luftkräfte auf dem Ausleger allein gemessen. Die Ergebnisse liefern Unterlagen für statische Lastannahmen der Windkräfte auf den Kran.

I. Einleitung

Zur Untersuchung der durch atmosphärischen Wind hervorgerufenen Luftkräfte auf Hebezeuge wurden im Auftrage der DEMAG, Duisburg, Abteilung Kranbau, Windkanalmessungen an verschiedenen Hebezeugen durchgeführt, um zuverlässige Lastannahmen für die statische Berechnung zu gewinnen. Wegen der Vielgestaltigkeit der Konstruktionselemente ist eine sichere Vor-ausberechnung der auftretenden Luftkräfte nur möglich, sofern Windkanalmessungen an einem Modell vorliegen. Hierbei ist die resultierende Luftkraft auf den angeströmten Körper nach Größe und Richtung zu bestimmen. Die im Institut für Strömungsmechanik der Technischen Hochschule Braunschweig vorhandene Sechskomponentenwaage Göttinger Bauart¹⁾ gestattet die Bestimmung der resultierenden Luftkraft auf ein im Freistrahle des Windkanals aufgehängtes Modell, indem die sechs Komponenten der resultierenden Luftkraft (drei Kräfte und drei Momente) einzeln gemessen werden.

¹⁾ Die nachfolgend mitgeteilten Untersuchungen wurden im Jahre 1952 im Auftrage der DEMAG, Duisburg, im Institut für Strömungsmechanik der T. H. Braunschweig durchgeführt und für die Veröffentlichung freundlichst zur Verfügung gestellt.

II. Umfang der Untersuchungen

Im folgenden werden Messungen dieser Art an einem Dreibeinportal-Kran mit Ausleger mitgeteilt (Abb. 1). Um insbesondere die Kippgefahr des Kranes durch den Winddruck auszuschalten, wurde für die Windkanaluntersuchungen eine feste Windrichtung relativ zum Dreibeinportal gewählt, welche die größte Kippgefahr bietet. Diese ist vorhanden, wenn der Wind von einer Ecke des Standdreiecks des Dreibeines aus senkrecht auf die gegenüberliegende Dreiecks-



Abb. 1. DEMAG-Dreibein-Portalkran im Hamburger Hafen.

seite einfällt. Bei dieser Stellung des Dreibeines wurde sowohl der Schwenkwinkel des Kranes durch Drehung des Kranhauses mit daranhängendem Ausleger als auch der Auslegerwinkel des Auslegers selbst in dem Bereich variiert, in dem die größten Kippkräfte zu erwarten sind.

Da für die Berechnung des Auslegers und der Schwenklager auch die Windkräfte auf den Ausleger allein von Interesse sind, wurde auch der Ausleger allein bei verschiedenen Schwenkwinkeln und Windrichtungen untersucht. Außerdem

wurde die Luftkraft resultierende auf den Kran ohne Ausleger bei verschiedenen Drehwinkeln des Kranhauses bestimmt. Es ergibt sich daraus die Möglichkeit, die Gesamtlast auch aus der Summe der Lasten auf den Kran und den Ausleger allein zu bestimmen.

Um schließlich noch die Interferenzwirkung zwischen Kran und Ausleger näher kennenzulernen, war es erforderlich, die Luftkraft auf den Ausleger allein in der Weise zu bestimmen, daß der gesamte Kran dabei im Luftstrom verbleibt. Der Kran ohne den Ausleger übernimmt dabei also lediglich die Funktion einer Blende für die Messung der Luftkraft auf den Ausleger.

III. Durchführung der Messungen

Das zur Untersuchung verwendete Modell des DEMAG-Dreibeinportal-Kranes war im Maßstab 1 : 36 aus Messingblech angefertigt. Eine Übersicht des Modelles mit den wichtigsten Abmessungen gibt Abb. 2. Für die Aufhängung des Modelles wurde in der Auslegerachse ein Rundstab von etwa 300 mm Länge angebracht, an dessen beiden freien Enden die dünnen Stahldrähte des Aufhängesystems angreifen. Als dritter Aufhängepunkt wurde das Ende einer von diesem Rundstab nach hinten auslaufenden Gabel gewählt. Der durch diesen Punkt gehende Haltedraht verlief gleichzeitig durch eine mittlere Verbindungsstrebe des Auslegers und hielt diesen in der jeweils gewünschten Winkelstellung fest. Die Aufhängung des Modelles im Windkanal erfolgte aus meßtechnischen Gründen kopfüber. Das Modell in der Meßstrecke des Wind-

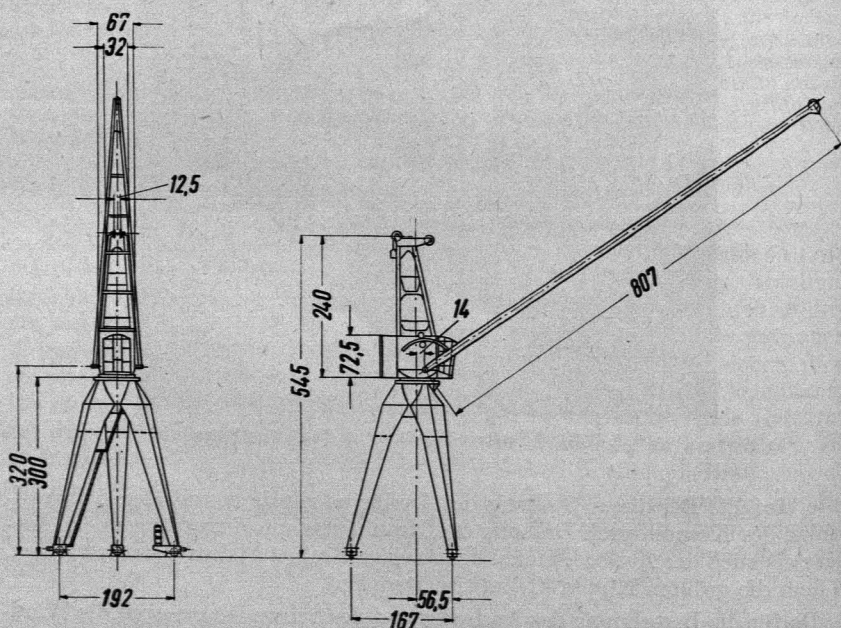


Abb. 2. Übersichtszeichnung des Modelles des Dreibein-Portalkranes.
Modellmaßstab 1 : 36 gegen Großausführung.

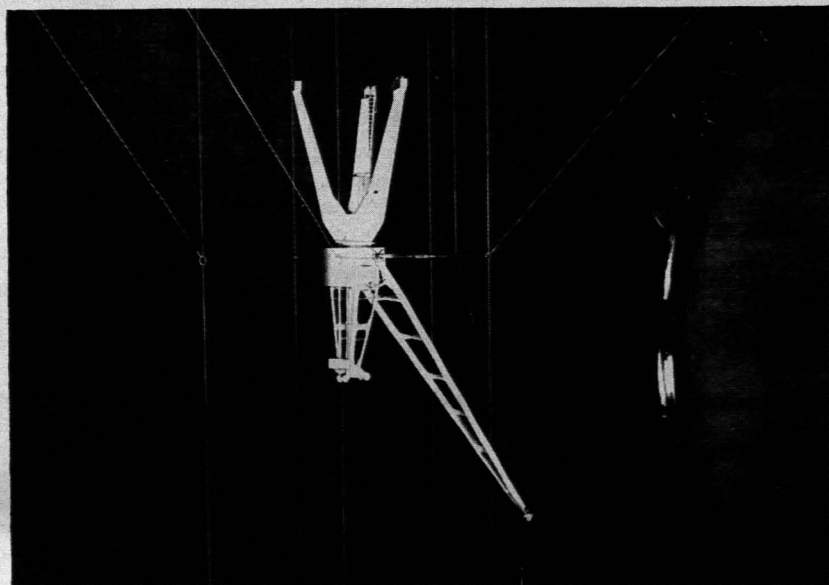


Abb. 3. Modellaufhängung in der Meßstrecke des Windkanales, Strömungsrichtung von links nach rechts. Modell hängt kopfüber.

kanales ist in Abb. 3 abgebildet. Oberhalb der Meßstrecke befindet sich das Waagensystem der Sechskomponentenwaage. Die Luftkräfte und Momente werden durch das auf dem Bild erkennbare System von dünnen Stahldrähten auf die einzelnen Waagen übertragen. Die gesamte Sechskomponentenwaage mit dem daranhängenden Modell ist um eine vertikale Achse drehbar angeordnet, wodurch die Anströmrichtung des Modelles im Bereich von 360° verändert werden kann.

Die in der Großausführung vorhandenen Seilzüge waren am Modell nicht angebracht. Die durch sie hervorgerufenen zusätzlichen Luftkräfte können nötigenfalls leicht rechnerisch ermittelt werden. Das am Turm befindliche Gegengewicht befand sich bei der Messung für alle Auslegerstellungen in der höchsten Stellung (größtes Kippmoment durch Luftwiderstand).

Die Kennzeichnung der Lage des Modelles relativ zum Luftstrom erfolgt in dem aus Abb. 4 ersichtlichen Koordinatensystem x, y, z , dessen x -Achse horizontal in der Symmetrieebene des Auslegers, dessen y -Achse in der Drehachse des Auslegers,

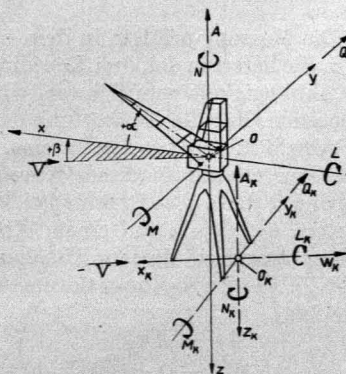


Abb. 4. Koordinatensysteme sowie Kraft- und Momentenrichtungen am Kranmodell. x, y, z – Koordinatensystem der Messung (mit Kran aus fest verbunden). x_K, y_K, z_K – Koordinatensystem des Krandreibeines. V – Windgeschwindigkeit, α – Auslegerwinkel, β – Schwenkwinkel (Vorzeichen nach Normblatt DIN L 100).

und dessen z -Achse vertikal verläuft. Die Anströmrichtung liegt horizontal in der x - y -Ebene und bildet mit der x -Achse den Schwenkwinkel β . Das Dreibeinportal ist gegenüber dem Kranhaus mit Ausleger um eine vertikale Achse drehbar. Seine Stellung ist windfest derart, daß die Anströmrichtung immer senkrecht zur Kippkante des Portals (y_K -Achse in Abb. 4) verläuft. Es ist deshalb noch ein weiteres, windfestes Koordinatensystem x_K, y_K, z_K (Abb. 4) eingeführt worden, dessen x_K -Achse entgegen Strömungsrichtung verläuft. Im Windkanal wurde eine Änderung des Schwenkwinkels β dadurch hervorgerufen, daß das gesamte Waagensystem mit daranhängendem Modell gegenüber der Strahlachse um eine vertikale Achse gedreht wurde. Das ebenfalls um eine vertikale Achse drehbare Dreibeinportal mußte dabei um den gleichen Winkelbetrag zurückgedreht werden, damit sich seine Anströmrichtung nicht änderte. Die Lage des Auslegers wird durch den Winkel α der Auslegerebene gegenüber der x -Achse gekennzeichnet.

Das Meßprogramm mußte mit Rücksicht auf die Größe des Modelles im Vergleich zu den vorhandenen Abmessungen des Luftstrahles im Windkanal so gestaltet werden, daß in allen vorkommenden Stellungen kein Teil des Modelles außerhalb des vollen Luftstromes lag. Hierdurch ergaben sich bei den hauptsächlich interessierenden Auslegerstellungen von $50^\circ < \alpha < 80^\circ$ für den Schwenkwinkel β maximal mögliche Werte zwischen $0^\circ < \beta < 50^\circ$ und $130^\circ < \beta < 180^\circ$, so daß vornehmlich die Queraufstellungen ($\beta = 90^\circ$) des Auslegers zur Windrichtung nicht in die Messung einbezogen werden konnten.

Für die Messung des Kranes ohne Ausleger sowie des Auslegers allein war es möglich, den gesamten Bereich zwischen $0^\circ < \beta < 180^\circ$ durch die Messung zu erfassen. Die resultierende Windgeschwindigkeit betrug bei diesen Messungen $V = 40 \text{ m/s} = 144 \text{ km/h}$. Für $\alpha = 60^\circ$ und $\beta = 180^\circ$ wurde ferner eine Geschwindigkeitsreihe zwischen $V = 25 \text{ m/s}$ und 58 m/s gefahren, um den Kennzahl einfluß zu untersuchen.

IV. Auswertung

Die Messung erfolgte in dem in Abb. 4 angegebenen Koordinatensystem x, y, z . Sie liefert in den drei Koordinatenrichtungen je eine Kraft und ein Moment in Abhängigkeit vom Schwenkwinkel β , deren Bezeichnungen aus Abb. 4 hervorgehen. Für die Auswertung der Luftkräfte auf den Gesamtkran wurde das in Abb. 4 mit x_K, y_K, z_K bezeichnete Koordinatensystem zugrundegelegt. Für die Umrechnung in dieses Koordinatensystem ist zu beachten, daß der Ursprung O des x - y - z -Systems bei Variation des Winkels β in dem Koordinatensystem x_K, y_K, z_K auf einem Kreis mit dem Radius r_0 in einer horizontalen Ebene wandert, dessen Mittelpunkt die Koordinaten $x_0, 0, z_0$ besitzt, vgl. Abb. 5. Die Umrechnungsformeln lauten für die drei Kräfte und drei Momente, wie folgt:

$$A_K = A$$

$$W_K = Q \cdot \sin \beta + W \cdot \cos \beta$$

$$Q_K = Q \cdot \cos \beta - W \cdot \sin \beta$$

$$M_K = M \cdot \cos \beta + L \cdot \sin \beta + z_0 W_K + (x_0 + r_0 \cos \beta) A$$

$$N_K = N + x_0 Q_K + r_0 Q$$

$$L_K = L \cdot \cos \beta - M \cdot \sin \beta + z_0 Q_K - r_0 \cdot \sin \beta \cdot A$$

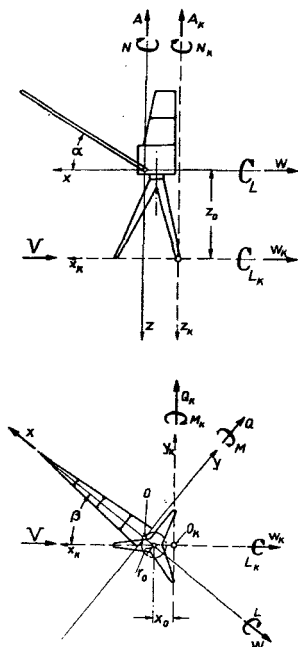


Abb. 5. Umrechnung der Luftkräfte und Momente aus dem Koordinatensystem der Messung in Luftkräfte und Momente an der Kippkante des Kranes.

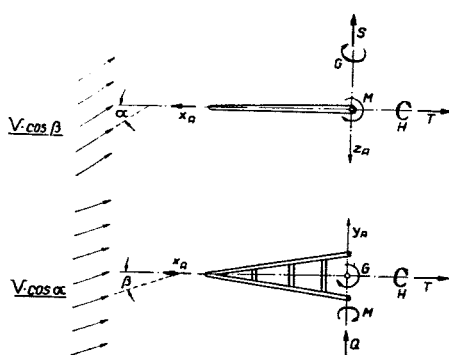


Abb. 6. Kräfte und Momente am Kranausleger.

Die Längen x_0 , z_0 und r_0 am Modell sind:

$$x_0 = 0,0565 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,3320 \text{ m}$$

$$r_0 = 0,0140 \text{ m}$$

Für die Auswertung der Meßergebnisse am Ausleger allein wurde ein Koordinatensystem x_A , y_A , z_A benutzt, welches gegenüber dem Koordinatensystem x , y , z lediglich um die y -Achse um den Auslegerwinkel α gedreht ist, so daß die x_A , y_A -Ebene in die Auslegerebene fällt, Abb. 6. Bei dieser Koordinatentransformation bleiben die Querkraft Q und das Auslegermoment M unverändert, während sich zwischen den übrigen Kräften und Momenten folgende Beziehungen ergeben:

$$S = A \cdot \cos \alpha + W \cdot \sin \alpha$$

$$T = W \cdot \cos \alpha - A \cdot \sin \alpha$$

$$G = N \cdot \cos \alpha + L \cdot \sin \alpha$$

$$H = L \cdot \cos \alpha - N \cdot \sin \alpha.$$

Die an die unmittelbaren Waagenablesungen anzubringenden Korrekturen (Aufhängewiderstand, Eichfaktoren usw.) wurden bei allen vorliegenden Messungen in der üblichen Weise durchgeführt.

V. Meßergebnisse

In Abb. 7 ist zunächst der Kennzahl einfluß bei Veränderung der Windgeschwindigkeit untersucht. Für den Fall verschwindenden Kennzahl einflusses

sind die Luftkräfte proportional dem Staudruck der Ausströmungsgeschwindigkeit $q V^2/2 = q$, so daß die auf den Staudruck q der Anströmung bezogenen Luftkräfte und Momente unabhängig von der Geschwindigkeit werden. Da das Modell fast durchweg scharfkantige Körperformen besitzt, bei denen die Abreißkanten der Strömung festliegen, darf erwartet werden, daß der Kennzahl einfluß sehr klein ist. Die in Abb. 7 wiedergegebene Messung für zwei Beispiele von Kräften bestätigt dies, so daß die Übertragbarkeit der Modellmessungen auf die Großausführung gesichert ist¹⁾.

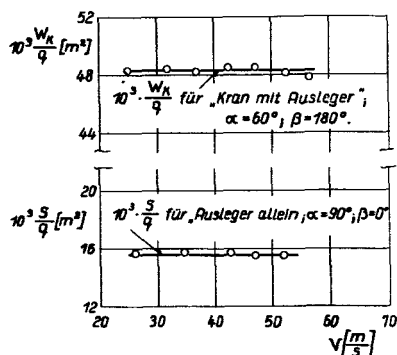


Abb. 7. Abhängigkeit der Luftkräfte von der Windgeschwindigkeit.

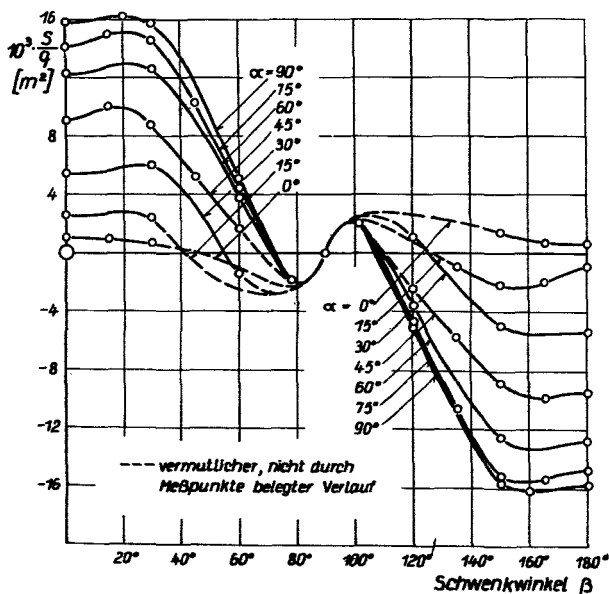


Abb. 8. Normalkraft S auf Ausleger allein.

¹⁾ Alle Kräfte und Momente gelten in den mitgeteilten Meßergebnissen für das Modell. Bei einem Modellmaßstab k ergeben sich die Werte für die Großausführung durch Multiplikation der Kraftkomponenten mit k^2 , und der Momentenkomponenten mit k^3 . Im vorliegenden Fall ist $k = 36$.

In Abb. 8 bis 13 sind die Ergebnisse der Messungen am Ausleger allein zusammengestellt. Aufgetragen sind die auf den Staudruck der Anströmung bezogenen Luftkräfte bzw. Momente nach Abb. 6 über dem Schwenkwinkel β von 0° bis 180° mit dem Auslegerwinkel α als Parameter. Für $\beta = 90^\circ$ verschwindet, wie man aus Abb. 6 erkennt, der Einfluß des Auslegerwinkels α , so daß bei diesem Wert von α alle Kurven durch den gleichen Punkt gehen. Bei symmetrischer Anströmung ($\beta = 0^\circ$ und 180°) verschwindet aus Symmetriegründen die Querkraft Q , das Schwenkmoment G und das Verdrehmoment H .

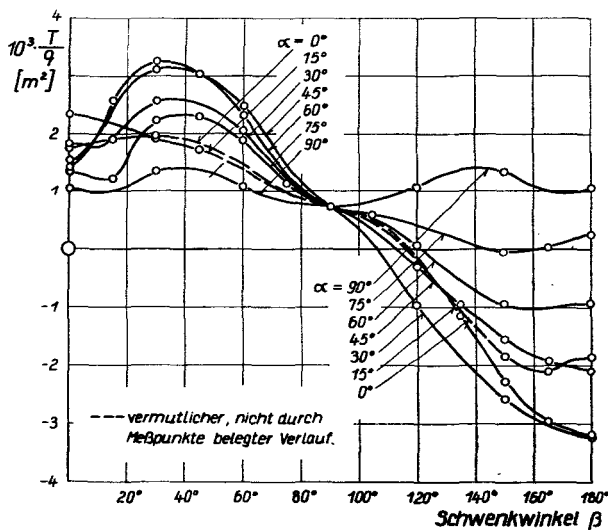


Abb. 9. Tangentialkraft T auf Ausleger allein.

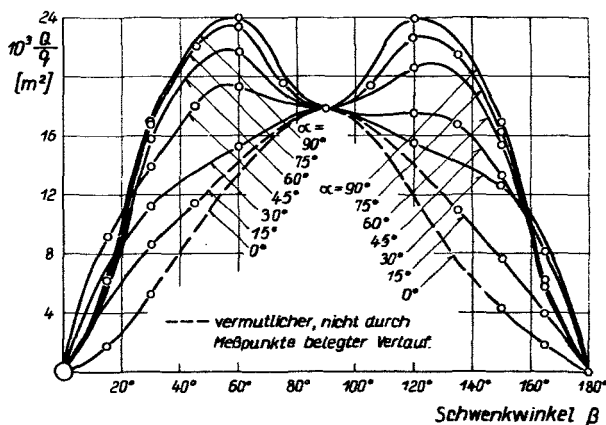
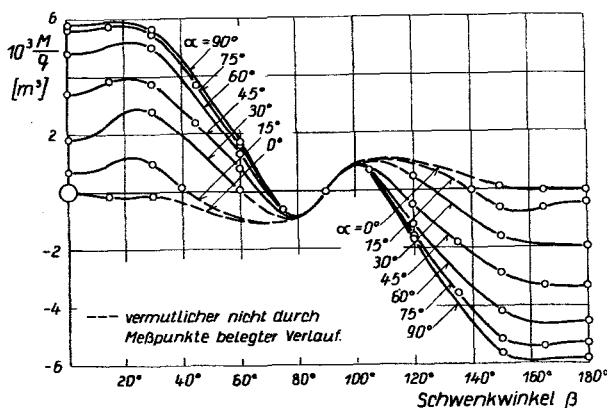
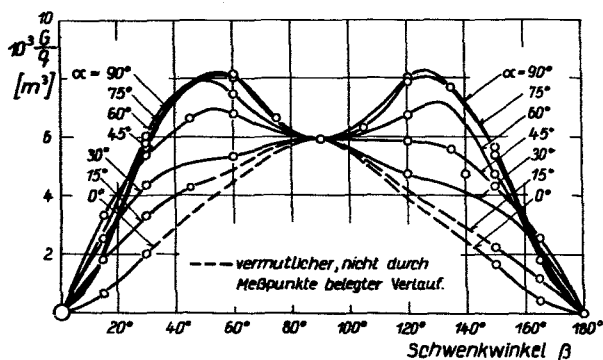
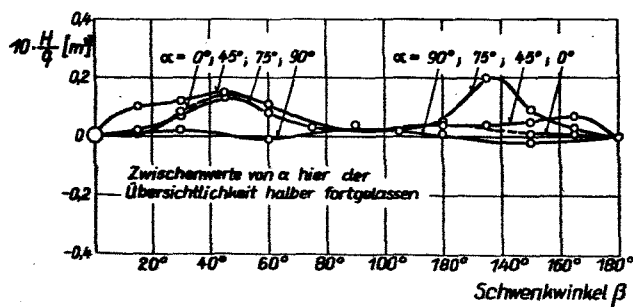


Abb. 10. Querkraft Q auf Ausleger allein.

Abb. 11. Auslegermoment M auf Ausleger allein.Abb. 12. Schwenkmoment G auf Ausleger allein.Abb. 13. Verdrehmoment H auf Ausleger allein.

Diese Größen verlaufen infolgedessen zu dem Punkt $\beta = 0^\circ$ bzw. 180° antisymmetrisch, während die übrigen Größen Normalkraft S , Tangentialkraft T und Auslegermoment M symmetrisch zu diesem Punkt liegen. Wie auch anschaulich leicht einzusehen ist, überwiegen größenmäßig bei weitem die Kräfte S und Q .

Errechnet man nach dem quadratischen Widerstandsgesetz

$$W = c_w F \cdot q$$

den Widerstandsbeiwert c_w mit F als in Strömungsrichtung wirksame Stirnfläche des Auslegers, so ergeben sich für die folgenden beiden ausgezeichneten Stellungen des Auslegers:

$$\alpha = 90^\circ \quad \beta = 0^\circ : W = S; F = 0,01277 \text{ m}^2 : c_w = 1,24$$

$$\beta = 90^\circ : W = Q; F = 0,01052 \text{ m}^2 : c_w = 1,69.$$

Demgegenüber beträgt der Widerstandsbeiwert der senkrecht angeströmten ebenen Rechteckplatte vom Seitenverhältnis $1 : \infty$: $c_w = 2,0$.

Die Ergebnisse der Messung am Gesamtkran mit und ohne Ausleger sind in Abb. 14 bis 19 zusammengestellt. Die Darstellungsweise ist die gleiche wie

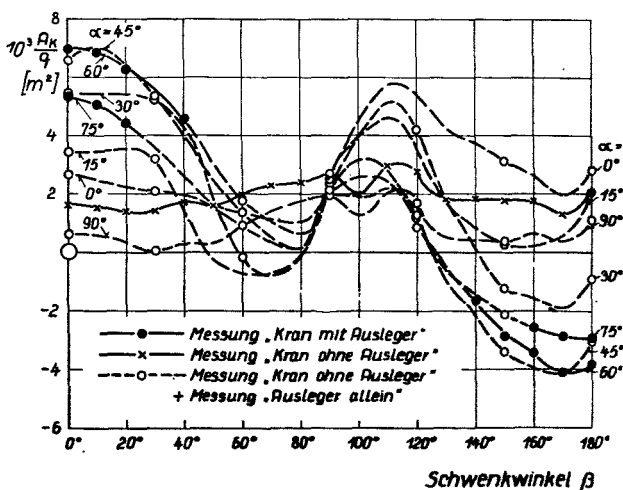


Abb. 14. Auftriebskraft A_K auf Kran mit und ohne Ausleger.

bei den Ergebnissen am Ausleger allein, jedoch sind nunmehr die Luftkräfte und Momente in dem Koordinatensystem des Krandreibeines nach Abb. 4 (Index „K“) angegeben. Bei diesen Messungen befindet sich also das Krandreibein immer in der gleichen in Abb. 4 bezeichneten Stellung relativ zur Windrichtung. Die Messung am Gesamtkran mit Ausleger konnte nur bei relativ wenigen Stellungen des Auslegers aus den o. a. Gründen ausgeführt

werden, und zwar vornehmlich im Bereich von $\beta = 0^\circ$ und 180° . Infolge der Abschirmung zwischen Kranhaus und Ausleger in diesen Bereichen des Schwenkwinkels β ist gerade dort mit starker Beeinflussung zwischen Kranhaus und Ausleger zu rechnen. Dagegen sind die Querabstellungen des Auslegers im Bereich von $\beta = 90^\circ$ im wesentlichen frei von Interferenzwirkungen, so daß in diesem Bereich eine Superposition der Messungen am Kran ohne Ausleger mit den Messungen am Ausleger allein zulässig erscheint. Wie man aus den Abbildungen erkennt, schließen sich auch beide Kurvenverläufe gut aneinander an. In fast allen Fällen bringt der Ausleger den überwiegenden Beitrag zu den

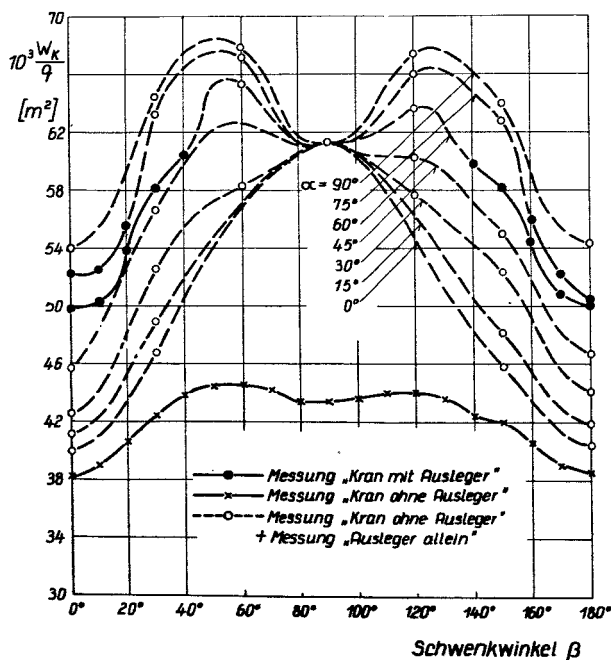


Abb. 15. Widerstandskraft W_K auf Kran mit und ohne Ausleger.

Luftkräften. Für die zum Teil etwas unübersichtlichen Kurvenverläufe lassen sich wegen der komplizierten Form des Kranmodelles kaum anschauliche Erklärungen finden. Erwähnt sei nur, daß die Messung am Kran ohne Ausleger im Bereich des Schwenkwinkels von $\beta = 0^\circ$ bis 180° einerseits und dem Bereich von $\beta = 0^\circ$ bis -180° andererseits nicht völlig identisch verläuft, da das Krandreibein nicht vollkommen symmetrisch gebaut ist (vgl. Abb. 2, Treppenaufgang, Antriebsmotor). Daraus erklärt sich u. a., daß die Querkraft Q_K , das Giermoment N_K und das Rollmoment L_K bei $\beta = 0^\circ$ und 180° nicht ganz verschwinden.

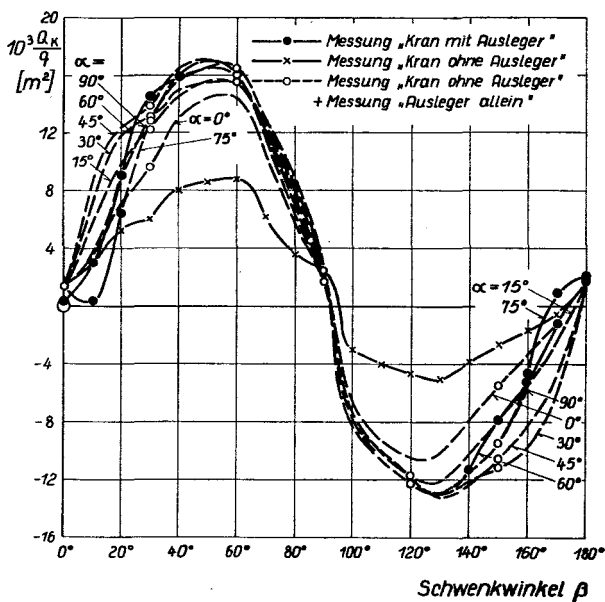


Abb. 16. Querkraft Q_K auf Kran mit und ohne Ausleger.

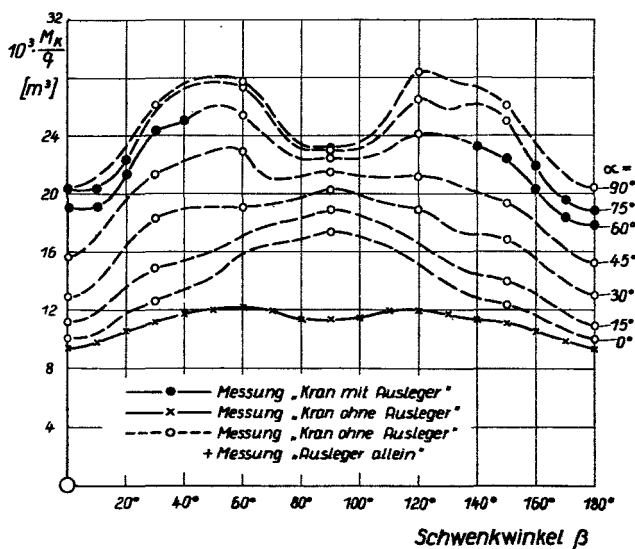


Abb. 17. Kippmoment M_K auf Kran mit und ohne Ausleger.

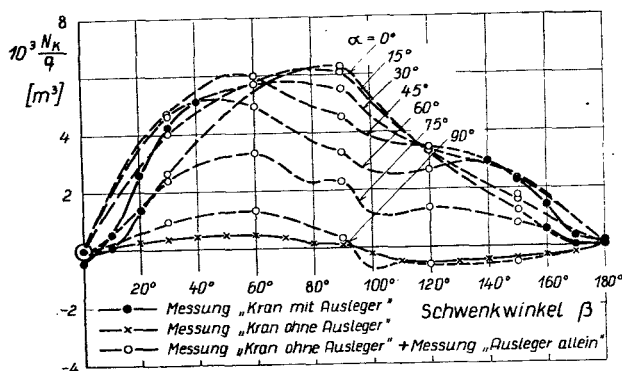


Abb. 18. Giermoment N_K auf Kran mit und ohne Ausleger.

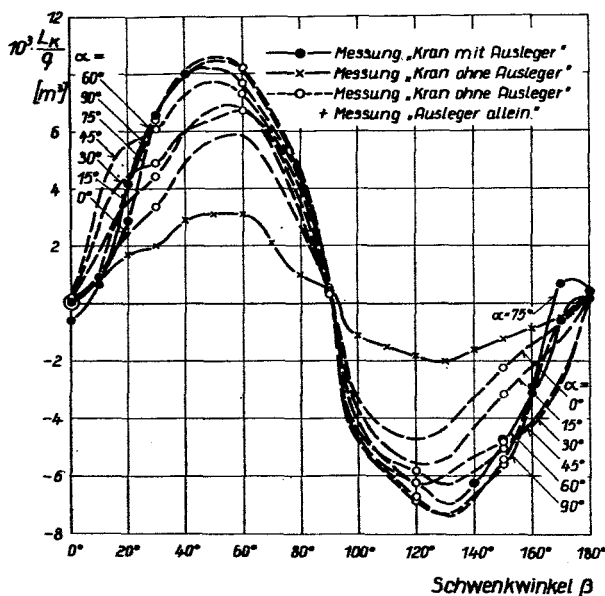


Abb. 19. Rollmoment L_K auf Kran mit und ohne Ausleger.

VI. Zusammenfassung

An einem Modell eines Dreibeinportal-Kranes mit Ausleger im Maßstab 1 : 36 wurden Luftkraftmessungen (Sechskomponentenmessungen) im 1,3-m-Windkanal des Institutes für Strömungsmechanik der Technischen Hochschule Braunschweig durchgeführt. Es wurden sechs Komponenten der resultierenden

Luftkraft (drei Kräfte und drei Momente) auf den Gesamtkran mit Ausleger, auf den Ausleger allein, sowie auf den Kran ohne Ausleger im Bereich des Auslegerwinkels von $\alpha = 0^\circ$ bis 90° und in einem Schwenkwinkelbereich von $\beta = 0^\circ$ bis 180° gemessen. Dabei wurde die Stellung des Dreieinportals relativ zur Windrichtung so festgehalten, daß die maximalen Kippmomente auf den Kran wirkten. Die Hauptergebnisse sind in den Abbildungen 8 bis 13 für den Ausleger allein und in den Abbildungen 14 bis 19 für den Gesamtkran mit und ohne Ausleger zusammengestellt. Vornehmlich für den Bereich des Schwenkwinkels β , für den nur geringe Windschattenwirkung zwischen Kran und Ausleger vorhanden ist (β um 90°), ist die Vernachlässigung der Interferenzwirkung zwischen Kran und Ausleger zulässig, so daß in diesem Bereich die Gesamtkraft auf den Kran mit Ausleger durch Addition der Kräfte auf den Kran ohne Ausleger und den Ausleger allein ermittelt werden kann.